

UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RIO

FACULTAD DE FORESTAL Y AGRONOMIA

DEPARTAMENTO FORESTAL



**INFLUENCIA DE LA CALIDAD DE LAS TROZAS SOBRE LA EFICIENCIA DE LOS ASERRADEROS UTILIZANDO LA MODELACION MATEMÁTICA EN PINAR DEL RIO.**

Tesis presentada en opción al grado académico de Master en Ciencias Forestales.

Mención aprovechamiento Forestal.

Autor: Renier Cairo Medina

Tutor: Dr Daniel Álvarez Lazo

## RESUMEN

El presente trabajo titulado influencia de la calidad de las troza sobre la eficiencia de los aserraderos utilizando la modelación matemática en Pinar del Río, Cuba, fue desarrollado en la Empresa Forestal Integral Pinar del Río, Empresa Forestal Integral Guanahacabibes, Empresa Forestal Integral Costa Sur, en la Provincia de Pinar del Río, Cuba .El objetivo de la investigación consiste en Desarrollar Modelos Matemáticos que permitan predecir los rendimientos y calidad de la madera aserrada a partir de parámetros dasometricos de los árboles en pie. Además se describe una manera interesante de estimar el volumen de madera de un área forestal perteneciente a un bosque artificial, que posee especies de elevado coeficiente mórfo, mediante las técnicas de integración numérica Monte Carlo Crudo y Monte Carlo Acierto – Rechazo a partir del conocimiento del Modelo Digital del Terreno. Además se determinó la influencia de la calidad de las trozas sobre los rendimientos de madera aserrada, valorando la incidencia de nudos en las piezas aserradas y su influencia en la calidad de las mismas.

## ÍNDICE

Epígrafe	Contenido	Pág.
	Resumen	
1.	Introducción	
2.	Antecedentes	
2. 1	Industria del Aserrio	
2. 1. 1	Los aserraderos	

Capítulo 1. Introducción.....	1
Capítulo 2. Antecedentes.....	4
2. 2 Industria del Aserrío.....	
2.2.1 Los aserraderos.....	
2.2.1.1 Tipos de aserraderos.....	
2.2.2 Proceso de aserrado de la madera .....	

2.2.2	Proceso de aserrado de la madera .....	
2. 2.2.1	Operaciones con la materia prima.....	
2.2.2.1.1	Clasificación de las trozas.....	
2.2.2.1.1.1	Clasificación de madera en bolo .....	
2.2.2.1.2	Cubicación de la materia prima.....	
2.2.2.1.3	Almacenamiento de la materia prima.....	
2.2.2.2	Troceado.....	
2.2.2.3	Operaciones de aserrado inicial.....	
2.2.2.4	La clasificación de madera aserrada.....	
2.2.3	Eficiencia del aserradero.....	
2.2.3.1	Eficiencia del proceso de aserrado.....	
2.2.3.1.1	Rendimiento Volumétrico total.....	
2.2.4	La calidad de madera en los aserraderos.....	
Capítulo 3	.Materiales y Métodos.....	
3. 1	Condiciones de trabajo.....	
3. 2	Metodología utilizada.....	
3.2.1.1	Estimación del diámetro de copa a partir del diámetro normal.....	
3.2.6.2	Estimación del volumen aserrada total a partir de la madera en Pie....	
3.2.6.4	Parámetros utilizados en la evaluación de los modelos.....	

3.1.1. 2. Análisis de la influencia de la calidad de las trozas utilizadas en la  
EFI Guhana Cavives y EFI Costa Sur.....

Capítulo 4. Análisis y discusión de los resultados.....

4.1 Cálculo del volumen de madera de un área forestal aplicando técnicas de  
integración Monte Carlo.....

4.2 Determinación de la influencia de la calidad de las trozas sobre los  
rendimientos de madera aserrada.....

4.3 Presencia de nudos en la madera aserrada de *Pinus caribaea* producida  
en la EFI Pinar del Río.....

4.4 Determinación de la influencia de las variables dasométricas de los  
árboles en pie sobre los rendimientos de madera aserrada.....

4.1 Modelo matemático para estimar el volumen total de la madera  
aserrada a partir del árbol en pie.....

CONCLUSIONES.....

RECOMENDACIONES.....

Bibliografía

## I. INTRODUCCIÓN

A pesar del desarrollo alcanzado hasta el presente, la madera y especialmente la aserrada, sigue siendo un producto de gran apreciación debido a sus características que la hacen insustituible para determinados usos, además de tener un carácter multipropósito y ser obtenida de fuentes de materias primas naturales renovables.

El incremento continuo de la población junto al consecuente aumento de la demanda de vivienda y otras necesidades, auguran un incremento notable del consumo de madera aserrada en los próximos años, según las estadísticas de la FAO (1993).

El sector forestal en Cuba aporta el 1% del Producto Interno Bruto (González, 1996), aunque con la proyección realizada para el año 2015 se estima que la producción de madera crecerá en 2.5 veces (MINAGRI, 1997).

Actualmente se destinan para la satisfacción de estos fines unos 188 000 m<sup>3</sup> de madera aserrada (aproximadamente el 9.6% del total), lo cual solo es superado por los 1 120 000 m<sup>3</sup> de madera en rollo destinada para combustible y 350 000 m<sup>3</sup> de madera rolliza, (MINAGRI, 1997).

Esta proporción ha estado por debajo de la demanda, creando la necesidad de importación de productos con mayor calidad, presentación y en cantidades apreciables para la satisfacción de las necesidades nacionales.

La industria del aserradero de madera es, prácticamente, la única industria forestal existente en Cuba. A ella se destina, aproximadamente el 12,4% de la producción forestal del país (FAO, 2004).

En general, la industria del aserrado en este país cuenta con equipos bastante antiguos, lo cual conlleva a los bajos niveles de producción de madera aserrada, además de problemas relacionados con la calidad de la misma e irregularidades existentes en las infraestructuras y flujos tecnológicos en los establecimientos encargados de producir esta madera aserrada. Fosado (1999).

La carencia de existencias maderables, el elevado costo de la materia prima lo cual es importante para el presupuesto de los aserraderos, y la baja eficiencia de conversión en las industrias del aserrado en el país, especialmente en

establecimientos de sierra principal de banda; suscita la necesidad de tomar medidas organizativas y técnicas relacionadas con el flujo tecnológico de la producción de madera aserrada, además de la implementación y uso de elementos de la investigación de operaciones en dichos establecimientos; para con ellos incrementar la productividad y calidad de la madera aserrada en el caso del *Pinus caribaea Morelet var caribaea*, particularmente en la provincia de Pinar del Río, donde esta especie es la de mayor perspectiva económica. Amaro (2002).

Con este propósito la presente investigación se desarrolla en diferentes aserraderos en la provincia de Pinar del Río, pertenecientes al Ministerio de la Agricultura.

### **Situación Problemática:**

Las cuestiones relacionadas con la calidad de la Madera aserrada es una problemática de mucha actualidad en Cuba, debido a la situación actual de los bosques y al estado técnico de los Aserraderos en el país que posibilitan pensar en la realización de investigaciones que ayuden a perfeccionar la forma del manejo de la materia prima y a la adquisición de nuevas tecnologías de aserrado, lo cual crea las condiciones para poder competir con la creciente representación de Empresas extranjeras importadoras de maderas que obligan a los productores cubanos a garantizar una máxima calidad del producto nacional.

Por lo planteado anteriormente se identifica el siguiente **Problema científico:**

***Los Aserraderos de la provincia de Pinar del Río no cuentan con el procedimiento adecuado para la planificación del suministro de madera y el control de la Calidad del Proceso de Aserrado, lo cual incide en un aprovechamiento ineficiente de la Madera como Materia Prima.***



El **Objeto de esta Investigación** es el proceso de transformación de trozas de coníferas en los aserraderos de la Empresa Forestal Integral Pinar del Río.

El **Campo de Acción** de la misma será: el estudio total de la madera en pie de *Pinus caribaea* var *caribaea* en Empresa Forestal Integral (EFI) del municipio de Pinar del Río, la Modelación matemática y el proceso de Control de la Calidad de la Madera aserrada. .

Partiendo de lo planteado anteriormente se propone como **Objetivo General** de este trabajo: ***“Desarrollar Modelos Matemáticos que permitan predecir los rendimientos y calidad de la madera aserrada a partir de parámetros dasométricos de los árboles en pie”.***

Como Objetivos específicos de la Tesis se tienen:

- Estudiar la relación existente entre los parámetros dasométricos de los árboles en pie y la Calidad y el Rendimiento del Proceso de aserrado.
- Diagnosticar la calidad de la madera aserrada en dependencia del número de nudos presentes.

**Como Hipótesis de la Investigación se propone:**

Si se desarrollan e implementan Modelos Estadísticos que tengan como referencia la calidad de la Madera en bolo, entonces se podrán incrementar los rendimientos y la Calidad de la Madera aserrada en los Aserraderos de la provincia de Pinar del Río

Los Resultados esperados de la presente Tesis son los siguientes:

- Compendio teórico sobre la relación existente entre los parámetros dasométricos de los árboles en pie y el Rendimiento del Proceso de aserrado.
- Diagnostico de la presencia de nudos en la madera aserrada de *Pinus caribaea* var *caribaea*.
- Desarrollo de Modelos matemáticos para el incremento el rendimiento a partir de los parámetros dasométricos y calidad de la madera en bolo.

## **II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2. 2 Industria del Aserrío**

La industria maderera es una de las más importantes en todo el mundo dentro del ámbito del aprovechamiento de los recursos naturales. La industria del aserrado ha existido en formas sencillas desde hace siglos, aunque ha sido estas últimas décadas cuando se han producido importantes avances tecnológicos con la introducción de la electricidad, la mejora en el diseño de las sierras y, más recientemente, la automatización de la clasificación y otras operaciones.

La forma más simple de industrializar la madera a partir de la troza, es su aserrado mediante gran variedad de máquinas y herramientas que pueden ser desde manual hasta los aserríos sumamente automatizados

La posible evaluación de las industrias del aserrío esta sujeta a la interacción de un sin número de variables, a las que se agregan constantemente nuevos factores que pueden modificar considerablemente las operaciones iniciales.

El desarrollo de este sector esta influenciado directamente por la materia prima, por la evaluación de la demanda de los productos y de la disposición de absorber cambios técnicos, además influirán de manera determinante los efectos del hombre sobre el medio ambiente.

Se pueden citar una serie de fenómenos que están influyendo sobre los elementos antes mencionados, entre los que se destacan:

1. Una disponibilidad mundial decreciente de madera de buena calidad y fácil accesibilidad, por lo que cada vez resulta más difícil obtener la materia prima necesaria.
2. Un afán en el mundo de conseguir:
  - Una mayor productividad y bajos costos
  - Una flexibilidad que permita la producción económica de serie cortas
  - Un valor añadido en la fuente misma de la materia prima, con la finalidad de crear empleo en aquellos países en los que hay grandes recursos madereros. y es necesario mantener a una población numerosa.

Egas (1998), expresa que estas tendencias tienen consecuencias importantes sobre la industria del aserrado actual, por lo que a nivel mundial se han implementado diferentes tecnologías que permiten mejorar los indicadores de la eficiencia en los aserraderos, desde las basadas en la aplicación de prácticas de aserrado, apoyándose fundamentalmente en la pericia y habilidad del personal técnico del aserradero y en las características de la materia prima, hasta las que parten de programas de optimización que son capaces de analizar diferentes variables y tomar decisiones de aserrado en un corto intervalo de tiempo.

### **2.2.1 Los aserraderos**

García et al. (2002), expresó que las instalaciones industriales donde se efectúa la elaboración de la madera en rollo para obtener madera aserrada, reciben el nombre de serrerías o aserraderos.

Reciben el nombre de aserríos porque los elementos o máquinas principales que intervienen en este proceso industrial están constituidos exclusivamente por sierras.

#### **2.2.1.1 Tipos de aserraderos**

Los dos tipos de aserraderos que pueden presentarse en esta industria son:

- Instalaciones fijas
- Instalaciones móviles

Las instalaciones fijas son aquellas que tienen una ubicación permanente y por tanto todos sus elementos responden a esta idea. Sus ciclos de producción suelen ser completos, es decir, sus productos finales, entre otros, pueden ser los siguientes:

- Tablón, en bruto
- Tablón canteado y retestado
- Tablón canteado, retestado y calibrado
- Tablón canteado, retestado, calibrado y clasificado
- Tablón canteado, retestado, calibrado, secado y clasificado.



Figura 1. Aserradero permanente. Fuente: Álvarez 2005

Así como los mismos productos para la tabla, viga o viguetas. Su producción puede necesitar o no del escalón de reaferrado intermedio.

Las instalaciones móviles montadas sobre chasis pueden desplazarse hasta las mismas fuentes de abastecimiento de materias primas. Sus productos elaborados suelen ser generalmente tablones, tablas, viguetas y vigas en bruto. Generalmente necesitan de la industria reaserradora.

La principal ventaja y el origen de las instalaciones móviles es que los residuos y desperdicios quedan en el mismo lugar de elaboración, y lo que se transporta en lugar de ser madera en rollo es producto elaborado o semielaborado, con la consiguiente economía de transporte. La integración de la industria aserradora con la de tableros de partículas anula, en un cierto porcentaje, esta ventaja.



Figura 2. Aserradero móvil horizontal. Fuente: Okay. 2001

La FAO (2004), expresa que la industria del aserradero de madera es, prácticamente, la única industria forestal existente en Cuba y a ella se destina, aproximadamente el 12,4% de la producción forestal del país. En general, la industria del aserrado en este país cuenta con equipos bastante antiguos, lo cual conlleva una baja eficiencia en el aserrado y limita la calidad de la madera obtenida. No obstante, en los últimos años se han puesto en marcha aserríos más modernos, con una tecnología más avanzada que favorece la calidad de la madera obtenida, permite elevar la productividad industrial y la eficiencia técnica y económica. Ahora bien, no podemos olvidar que el estado en el que se encuentra el país ha provocado limitaciones en el acceso a tecnologías avanzadas y, aún cuando disponga del conocimiento de éstas, no las puede implementar por la falta de fondos financieros en divisas.

## **2.2.2 Proceso de aserrado de la madera**

Alvarez (2005), expresa que la industria del aserrado consta de una serie de operaciones que son necesarias para que la conversión de trozas en madera aserrada sea un proceso factible al menos desde el punto de vista económico.

### **2. 2.2.1 Operaciones con la materia prima**

La materia prima para el aserrado, es decir la madera en rollo, puede estar conformada por trozas ya listas para el aserrado o por madera larga que antes de ser aserrada debe ser sometida al proceso de troceado. Estas trozas deben tener dimensiones y calidad adecuada para el aserrado con la finalidad de garantizar valores aceptables de productividad y eficiencia de conversión.

#### **2.2.2.1.1 Clasificación de las trozas**

Para la clasificación de la madera en bolo se debe tener en cuenta los siguientes defectos de la madera, que inciden directamente sobre la calidad y la eficiencia del proceso de aserrado.

Se considerar como defectos de la madera, todas las anomalías de su estructura, textura y color que perjudiquen su utilización, pues en algunos casos estas anomalías pueden elevar considerablemente su valor. Además en la industria de transformación mecánica de la madera las exigencias en cuanto a características son tan diversas que una cualidad se considera en ocasiones como una ventaja y en otros casos un inconveniente.

Los bolos muy curvados que no son útiles para un ebanista pueden ser los preferidos por el constructor de carruajes o barcos. Análogamente, una madera que se raje con facilidad no puede emplearse en la ebanistería, será muy apreciada en la fabricación



de objetos que requieran dicha característica; mientras que las maderas que han variado de color, son rechazadas con razón por la mayoría de los consumidores y en cambio muy apreciadas por el ebanista. No obstante, la demanda general se refiere a madera normal y sana de modo que con arreglo a la costumbre, llamaremos defectos de la madera a todas sus anormalidades.

#### **2.2.2.1.1.1 Clasificación de madera en bolo**

Esta clasificación es un método que determina la calidad de madera producida basándose en la forma del bolo y los indicadores externos de defectos. La mayoría de los aserraderos de madera dura compran bolos teniendo en cuenta su clasificación y categorización, la clasificación por categoría esta asignada a un bolo basándose en la cantidad de defectos, tales como, nudos y pudrición visibles en la superficie. Los defectos afectan la calidad y cantidad de madera que puede ser producida de un bolo. Mientras más alto sea la clasificación de un bolo mayor es la cantidad de madera de mejor calidad (Rast et al., 1973). Consecuentemente, un bolo de alta clasificación vale más que un bolo de baja clasificación del mismo volumen. The U.S. Forest Service ha desarrollado una clasificación estándar para madera dura con especificación basada en la posición del bolo en el árbol, el diámetro, rectitud, el tamaño y la cantidad de materia libre de defectos en la cara seleccionada en la clasificación (Rast et al., 1973).

No hay ninguna organización o agencia gubernamental que tenga control sobre medición de bolos (Freese, 1973). Como consecuencia, cada individuo que compra madera puede desarrollar una regla de acuerdo a un grupo de condiciones de operaciones en una región respectiva.

Según Ese-Etam (2006), la mayoría de los aserraderos de madera dura desarrolla y usa su propia especificación en la regla de clasificación de bolo en vez de usar la de The U.S Forest Service. Estas especificaciones de reglas de clasificación se basan típicamente en el número de cara clara, diámetro y longitud. También planteó que es importante usar especificaciones de clasificación de bolo uniforme porque la clasificación tiene un impacto en la clasificación de madera aserrada y el control del rendimiento. Es importante mantener clasificación uniforme para evitar variabilidad entre muestras o entre grupos de muestra

#### **2.2.2.1.2 Cubicación de la materia prima**

Las unidades de medida generalmente empleadas en la cubicación de la madera destinada al aserrado son el metro cúbico y el pie cúbico, siendo la primera la más utilizada a nivel mundial.

La creciente utilización de los estimadores de volumen cúbico, así como el aumento del rigor en la consideración de la exactitud de los mismos ha sido impulsado por el desarrollo y los cambios experimentados en las tecnologías de la industria de los productos forestales, así como el alza de los costos de la madera en bolo.

Desde el punto de vista de la contabilidad y planificación el objetivo de la cubicación es caracterizar la madera en bolo, de tal forma que se tenga en cuenta los factores de costo y del valor y que estos pueden ser transferidos y controlados en cada etapa del proceso de conversión.

Entre las expresiones matemáticas más utilizadas para determinar el volumen de la madera en rollo se encuentran las siguientes:

$$\text{Fórmula del diámetro promedio} \quad V = 0.7854 * ((D_b + D_r) / 2)^2 * L \quad (1)$$

$$\text{Fórmula de Smalian} \quad V = ((G_b + G_r) / 2) * L \quad (2)$$

$$\text{Fórmula de Hubert} \quad V = G_c * L \quad (3)$$

$$\text{Fórmula de Newton} \quad V = ((G_b + 4 * G_c + G_r) / 6) * L \quad (4)$$

Donde:

V- volumen de madera en bolo, m<sup>3</sup>

D<sub>b</sub>- diámetro en la base de la madera en bolo, m<sup>3</sup>

D<sub>r</sub>- diámetro en el extremo delgado de la madera en bolo, m<sup>3</sup>

L- longitud de la madera en bolo, m<sup>3</sup>

G<sub>b</sub>; G<sub>c</sub>; G<sub>r</sub>- área basal de la Madera en rollo en la base, en el centro y en el extremo delgado.

### **2.2.2.1.3 Almacenamiento de la materia prima**

El objetivo fundamental del almacenamiento de la madera ya sea en rollo o troza consiste en mantener un inventario adecuado de las dimensiones y calidades requeridas para evitar interrupciones del proceso productivo por falta de materia prima. De esta forma, el personal responsable de esta área en el aserradero se encarga de controlar mediante un registro la entrada de la materia prima, almacenar, separar y entregar las trozas o madera larga a la plataforma primaria alimentadora de trozas (plataforma previa al troceado y descortezado).

Algunos métodos para reducir la aparición de grietas y rajaduras en los extremos de las trozas son los expuestos por Brown y Bethel (1987):

- *Control de Inventario.* Se realizan planes para llevar un inventario menor de la madera en rollo durante los períodos secos y cálidos, lógicamente el tiempo promedio que permanece cada troza en el patio, será más corto y por lo tanto habrá menos daño. Para que esto se cumpla siempre se debe procesar la madera que ha permanecido más tiempo en el patio.

- *Mantener las trozas húmedas.* Al mantener las trozas húmedas mediante rociadores o aspersores se crean las condiciones para evitar o disminuir la intensidad del secado y por lo tanto la aparición de grietas es poco probable aún en tiempos muy cálidos.

- *Cubrimiento en los extremos de la madera en rollo.* Este método consiste en cubrir los extremos de la madera en rollo con un material que retarda la salida de la humedad. Entre los materiales que se pueden utilizar con efectividad para cubrir los extremos se encuentran los pigmentos de pasta de aceite, el aceite fijador y cepas higroscópicas. Las pinturas y los barnices ordinarios se han utilizado también, pero a menos que se apliquen en varias ocasiones, estos materiales relativamente no tienen efecto.

El almacenamiento de la materia prima al aire libre requiere de un grupo de consideraciones a tener en cuenta para la ubicación, preparación del patio y manejo de la materia prima.

Para minimizar el efecto del manchado se deja el procesamiento de las trozas de baja calidad para el final. Además se puede montar difusores que riegan

continuamente la madera en rollo, al mismo tiempo que se impregna sus extremos con un producto determinado para neutralizar las esporas que penetran por las mismas.



Figura 3. Almacenamiento de la madera en rollo. Fuente: Manoo2008

La planificación del proceso de aserrado conlleva la consideración de diversos elementos como un sistema estrechamente ligado en el momento de la planificación operativa (Fosado (1999), Álvarez y Egas et al (2002)):

- *Producto final.* Es el resultado de la aplicación a cada troza de un esquema de corte en una sierra y se clasifica en función de sus dimensiones (ancho, grosor y largo) y de su calidad. Para ello existen patrones que asignan un nivel en función del número y tipo de defecto que puede presentar una pieza aserrada (CONFEMADERA, 2005).

- Un producto final puede ser obtenido indistintamente por varios esquemas de corte.

- *Disponibilidad de la materia prima y eficiencia en su uso.* Indispensable resulta el conocimiento de los niveles de inventario de madera en bolo. El proceso de aserrado necesita una retroalimentación constante de madera del bosque para poder mantener ininterrumpidamente el proceso productivo. ¿Qué se debe aserrar? es una pregunta que debe tener un respaldo en el almacén de materia prima, la no existencia de clases diamétricas en este almacén puede llevar al uso de esquemas poco eficientes para determinadas producciones.

- *Características de la materia prima.* La materia prima en el proceso de aserrado lo constituye la troza, se clasifica en función de sus características (largo y diámetro) y por tanto se le pueden aplicar diferentes esquemas de corte.

- *Demanda de los surtidos a obtener.* La demanda en el proceso de aserrado está preestablecida y corresponde al volumen de madera de cada surtido que debe elaborarse en cada período de planificación.

- *Disponibilidad de tiempo.* La disponibilidad de tiempo esta vinculada al proceso de aserrado en sí, no al proceso de alimentación y salida de la maquinaria pues estos, por lo general, no constituyen retrasos en el sistema.

- *Características de la maquinaria instalada.* Importante resulta el tipo de maquinaria instalada, no sólo por el nivel de productividad sino también por el tipo de tecnología (circular, banda, alternativa). Un cambio en el tipo de sierra implicaría diferencias significativas en las posibilidades de cortes y tiempo de aserrado.

#### **2.2.2.2 Troceado.**

Se plantó por Álvarez (2007) que la operación de troceado tiene por objetivo:

- Disminuir los costos de elaboración, saneando las trozas.
- Adecuar la longitud de la troza a las dimensiones finales de la madera aserrada.

El troceado, si las trozas son de pequeño diámetro, se puede hacer con motosierras portátiles. En caso contrario, se hace con instalaciones fijas que pueden ser de dos tipos:

- a) Sierra de disco de balancín, útil hasta diámetros medios.
- b) Con troceadoras de vaivén para grandes dimensiones

En el troceado es necesario tener en cuenta determinadas consideraciones específicas y entre ellas se atribuye gran importancia a la longitud y la calidad de las trozas

#### **2.2.2.3 Operaciones de aserrado inicial**

Aquí e incluyen todas las operaciones que están relacionadas con el corte de las trozas o de piezas semielaboradas, ya sea en la dirección longitudinal o en la transversal, para la producción de madera aserrada (Álvarez, 2007).

#### **2.2.2.4 La clasificación de madera aserrada**

El valor de madera producido de un bolo es típicamente más importante que el volumen producido. El valor de la madera está determinado por su clasificación. La clasificación de madera dura aserrada esta basada en muchas criterios, el número, el tamaño de corte limpia que puede ser cortada de la tabla y los rasgos visibles tales como nudos, hueco en el duramen, alabear, y manchas, juega un papel grande

en la asignación de clasificación. Esta a su vez está determinada utilizando las reglas asignado por The National Lumber Association (NHLA, 1998), la mayor parte de la madera esta clasificada basándose en la cara mala de la tabla.

El valor de la madera aserrada decrece con el aumento del número de defectos. La madera de alta clasificación tiene menos defectos y aéreas de corte clara y limpia que la de baja clasificación. La escala estándar de clasificación de madera de latifolia de lo alto hacia lo bajo son Primero y Segundo ((First And Seconds (FAS)), FAS 1cara ((FAS 1 Face (FIF))), elige (Selects), No.1 Common (común), No.2A Common (común), y No.2B Common (común), No.3<sup>a</sup> Common (común), y No.3B Common (común), (NHLA, 1998). Mientras que la práctica de clasificación de madera coexista debido a una amplia variedad de especies maderables, practicas industriales y necesidades del cliente (Kent et al. 1999), las reglas de NHLA son las más usadas por la industria.

Las trozas o bolos de madera se clasifican en función de sus dimensiones (ancho, grosor y largo) y de su calidad. Para ello existen patrones que asignan un nivel en función del número y tipo de defecto que puede presentar una pieza aserrada (CONFEMADERA, 2005).

La medición de la forma durante la clasificación en un aserradero es útil para la predicción de la clasificación de la madera aserrada (Grace 1994; Jäppinen & Beauregard 2000; Lundgren 2000; Oja 2003).

Como la madera como materia prima representa aproximadamente 2/3 del costo total del aserradero, el nivel de eficiencia utilizando la misma obviamente tiene un gran impacto en los resultados económicos, se puede obtener económicamente ganancias mayores seleccionando la materia prima adecuada y procesándola



inteligentemente teniendo en cuenta el conocimiento de las estructuras internas de los nudos de árboles y trozas (Steele et al. 1993, Groñlund 1995, Todoroki 2001).

En estudio que se ha hecho usando escáner (Nylinder 1990, Grace 1994, Grundberg 1999, Oja 1999, Jappinen 2000), las trozas han sido grupada en dos grupos o un valor continuos has sido predecible y el método estadístico usado fue un análisis de regresión de tala o partial least squares (PLS). Si las trozas están calcificadas en más de un grupo, el mejor método estadístico seria un análisis de discriminación.

El análisis de discriminación ha sido exitosamente probado por Belli et al, (1993) Anon (1980), planteó que en casi todas las situaciones de clasificación el problema con la precisión y subjetividad surge cuando se está clasificando bolos o trozas. Subjetividad ha sido una norma en la antigua clasificación de Swedish reglas, que dice que “un pedacito de madera teniendo menor defecto como estaría puesta en rango de clasificación bajo puede, sin embargo, quedarse en el rango alto si, con respecto a los demás defectos, puede ser clasificado junto con las mejores pedacitos dentro del rango alto”. El problema con defectos en el margen han sido planteado en Kline et al. (2000) and Lycken (2000), mientras que él con subjetividad y exactitud está planteado en Kline et al. (2003) y Huber et al. (1990).

### **2.2.3 Eficiencia del aserradero**

En los aserraderos la eficiencia puede ser evaluada por la clasificación y el rendimiento en volumen. Un estudio de la clasificación en madera dura producirá información que relaciona la clasificación de bolo y la clasificación de maderas aserradas producidas. El estudio de la clasificación y rendimiento da información que compara el precio pagado por lo un bolo y el valor del producto. Aunque este es importante determinando la eficiencia, no indica el costo exacto en el procesamiento del bolo en madera aserrada derivada del bolo.

#### **2.2.3.1 Eficiencia del proceso de aserrado**

Los indicadores de la eficiencia de conversión de las trozas en madera aserrada se pueden dividir en dos grandes grupos:

1. Los indicadores relacionados con la eficiencia de conversión en volumen.
  - a. Rendimiento volumétrico total
  - b. % de desperdicio de aserrín
  - c. % de desperdicio de otros residuos
2. Los indicadores de la eficiencia de conversión en valor, también denominados indicadores del rendimiento en valor.
  - a. Valor por m<sup>3</sup> de madera aserrada
  - b. Valor por m<sup>3</sup> de trozas

##### **2.2.3.1.1 Rendimiento Volumétrico total**

Egas (1998) expresa que existen un grupo de autores que consideran dos formas de expresar el rendimiento volumétrico: rendimiento volumétrico por surtidos y rendimiento volumétrico total. El primer indicador no es más que la relación entre el volumen de madera aserrada de un pedido específico o de una clase de calidad

determinada y el volumen total de madera aserrada obtenida de una troza o grupo de trozas (ambos volúmenes en m<sup>3</sup>) expresado en porcentaje.

Igualmente existe otro grupo de autores que mencionan tres formas de expresar el rendimiento volumétrico: el % de conversión, el factor de conversión de madera aserrada y el factor de conversión cúbico.

El % de conversión (PC), es el volumen actual de madera aserrada, expresado en pies tablas, obtenido por pié-tabla de madera aserrada de una troza estimada por la escala neta de Scribner, multiplicado por 100:

$$PC = \frac{\text{Volumen actual de madera aserrada (pié tabla)}}{\text{Volumen estimado por escala de Scribner (pies - tabla)}} * 100 \quad (5)$$

Obsérvese que un pié tabla de madera aserrada equivale a 0,0023597 m<sup>3</sup>

El factor de conversión de madera aserrada (FCMA) no es más que la cantidad de pies-tabla nominales de madera aserrada obtenidos por pié cúbico de volumen de una troza multiplicado por 100

$$FCMA = \frac{\text{Volumen nominal de madera aserrada}}{\text{Volumen de la troza}} * 100 \quad (6)$$

Obsérvese que un pie cúbico equivale a 0,0283168 m<sup>3</sup>

El factor de conversión cúbico (FCC) es el por ciento de volumen cúbico de madera aserrada que se obtiene por unidad de volumen cúbico de una troza.

$$FCC = \frac{\text{Volumen de madera aserrada (m}^3\text{)}}{\text{Volumen de la troza (m}^3\text{)}} * 100 \quad (7)$$

El volumen de madera aserrada total en cada troza en los aserraderos, se determina sobre la base de las mediciones lineales obtenidas de madera aserrada de acuerdo con las expresiones que se exponen a continuación.

$$V_{ma} = \sum_{i=1}^n (a_i * g_i * l_i) \quad (8)$$

Donde:

$V_{ma}$ - Volumen de madera aserrada de una troza,  $m^3$

$a_i, g_i, l_i$  - ancho, grueso y longitud de la pieza  $i$  obtenida de una troza o grupo de troza,  $m$

$n$ - Número de piezas aserradas de una troza

#### **2.2.4 La calidad de madera en los aserraderos**

Si no hubiera ninguna correlación entre los defectos del bolo y la calidad de la madera producida habría poca justificación en la describiendo la relación defectos–bolo. La clasificación de bolo sería irrelevante como que un principio tras la clasificación de bolos es analizar la calidad. Cada bolo, a pesar de la frecuencia del defecto, tamaño, localización, tendría el mismo potencial para producir madera aserrada de valor. Un estudio realizado por Hanks *et al.* (1980), para determinar la relación entre la clasificación bolos y la recuperación de madera aserrada de la madera clasificada da como resultado que la calidad está directamente relacionada con la clasificación de bolos. Como se sabe que la clasificación está directamente relacionada con el tipo de defecto, la frecuencia, tamaño y locación, se puede plantear que la información de los defectos de los bolos contribuye a la calidad de la madera aserrada producida (Winn, 2002).

### III MATERIALES Y METODOS

#### 3. 1 Condiciones de trabajo

El presente trabajo se desarrolla en los aserraderos pertenecientes a la EFI Pinar del Río, EFI Macurije, EFI Minas y EFI Costa Sur y EFI Guanahacabibes, todos pertenecientes al Ministerio de la Agricultura en la provincia de Pinar del Río, Cuba.

#### 3. 2 Metodología utilizada

##### 3. 2. 1 Estimación del diámetro de copa a partir del diámetro normal

El diámetro de copa de los árboles se obtuvo midiendo la proyección vertical en dirección este - oeste y norte - sur con la cinta métrica, promediándose ambas mediciones para obtener el diámetro medio de copa de cada árbol (Figura 1), de acuerdo con lo planteado por Jara (2001).

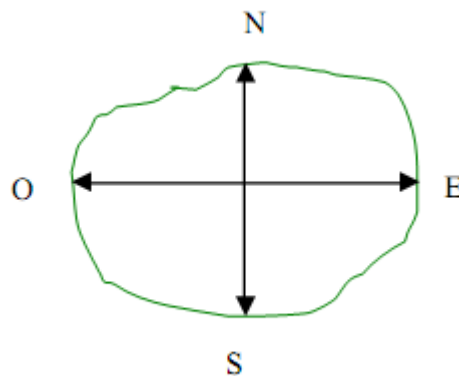


Figura 4. Medición del diámetro de copa de los árboles

Al respecto Caillez (1980) plantea que para realizar una correcta medición del diámetro de copa se deben medir, como mínimo cuatro radios, preferiblemente 8, en direcciones que formen ángulos iguales.

Las ecuaciones probadas para estimar el diámetro de copa fueron las siguientes:

$$y = b_0 + b_1x \quad (9)$$

Donde:

$b_0$ : Constante

$b_1$ : Coeficiente de la regresión

$y$ : Diámetro de copa

$x$ : Diámetro normal

### **3. 2. 2 Modelación matemática de la influencia de la calidad de los árboles en pie sobre los rendimientos y calidad de la madera aserrada en la EFI Pinar del Río.**

En la Empresa Forestal Integral Macurije para determinar la influencia de las variables dasométricas de los árboles en pie sobre los rendimientos de madera aserrada, se emplea una muestra de 52 árboles a los que se les midió el diámetro normal (d1.30), altura total, altura en la cual el diámetro del fuste es de 7 cm, diámetro de copa, altura de copa.

Las mediciones fueron tomadas en los árboles en pie a los cuales se les midieron los diámetros al altura del pecho (d 1.30) y la altura total después de haber sido cortada los árboles.

Para obtener el rendimiento en porcentaje se empleó la relación siguiente. (Miguel, 1989)

$$R_v = \left( \frac{V_{ma}}{V_t} \right) * 100 \quad (10)$$

Donde:

$R_v$  - Rendimiento volumétrico total, %

$V_{ma}$ - Volumen de madera aserrada,  $m^3$

$V_t$ - Volumen de madera en trozas,  $m^3$

El volumen de madera aserrada total en cada troza en los aserraderos, se determina sobre la base de las mediciones lineales obtenidas de madera aserrada de acuerdo con las expresiones que se exponen a continuación.

$$Vma = \sum_{i=1}^n (a_i * g_i * l_i) \quad (11)$$

Donde

$Vma$ - Volumen de madera aserrada de una troza,  $m^3$

$a_i, g_i, l_i$ - ancho, grueso y longitud de la pieza  $i$  obtenida de una troza o grupo de troza,  $m$

$n$ - Número de piezas aserradas de una troza

El cómputo del volumen en bruto de cada troza se efectuó a través del método del centroide para trozas de la base (Wiant et al. 1992).

### **3. 2. 2. 1. Parámetros utilizados en la evaluación de los modelos**

En la determinación de la calidad de los modelos planteados en este trabajo se utilizaron los estadísticos fundamentales, el coeficiente de determinación, la desviación estándar de los residuales y la distribución de los residuos Gra et al. (1990); Peñalver, (1991); Pimentel y García (1993); Aldana et al. (1994); Guevara (1997); Wendling et al. (2000); Imaña - Encinas (1998); León (1999); Padilla (1999); Henry (1999); Benítez (2001); Vidal et al. (2002 y 2004). Además se calculó el Índice de Furnival González (1989); Gra y Báez (1989); Egas (1998); Ares (1999); Padilla (1999); Loguercio y Defossé (2001); Henry (2002); Benítez et al. (2003 y 2004) y el Criterio de Información de Akaike (AIC) Dieguez et al. (2003); Rodríguez y Molina (2003); Barrio et al. (2004).



Los supuestos del análisis de regresión fueron comprobados siguiendo el criterio expresado por Air et al. (1999) que plantean que es esencial cumplir los supuestos del análisis de regresión para asegurar tanto que los resultados obtenidos sean verdaderamente representativos de la muestra como que hemos obtenidos los mejores resultados posibles. Cualquier incumplimiento serio de los supuestos debe detectarse y corregirse si es posible.

El análisis del cumplimiento de los supuestos teóricos del análisis de regresión se realizó tanto en las variables individuales como en la relación global. Este hecho se debe a que en la regresión múltiple una vez que se ha calculado el valor teórico actúan colectivamente en la predicción de la variable dependiente razón por la cual se deben evaluar los supuestos no solo de las variables individuales sino del valor teórico en si mismo.

El supuesto fundamental del análisis multivariante es la normalidad de los datos, en referencia al perfil de la distribución de los datos para una única variable métrica y su correspondencia con la distribución normal, punto de referencia de los métodos estadísticos. Si la variación respecto a la distribución normal es suficientemente amplia, todos los test estadísticos resultantes no son válidos, dado que se requiere normalidad para el uso de los estadísticos de la  $t$  y de la  $F$  Gujarati (1999).

Los gráficos de residuos y de las variables independientes o de las predicciones constituyen el método básico de identificación de los incumplimientos de los supuestos para el conjunto de la relación. Partiendo del criterio expresado por Hair et al. (1999) y Gujarati (1999) los supuestos teóricos de los análisis de regresión examinados fueron los siguientes:

- La linealidad del fenómeno medido
- La varianza constante del término del error
- La independencia del término del error
- La normalidad de la distribución del término del error

Air et al. (1999) plantean que el análisis de los residuos, bien con los gráficos de residuos o bien con test estadísticos, proporciona un conjunto simple pero potente de instrumentos analíticos para examinar la conveniencia de nuestro modelo de regresión. La corrección del incumplimiento de los supuestos básicos del análisis de regresión se realizó mediante transformaciones realizadas a las variables (dependientes e independientes según el caso) empleadas en este trabajo.

El coeficiente de determinación ajustado refleja la variabilidad total explicada por el modelo (Pupo, 1983; Prodan et al., 1997; Kiviste et al., 2002; Diéguez et al., 2003):

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2} \left( \frac{N-1}{N-P} \right) \quad (12)$$

Donde:

$R^2_{adj}$ : Coeficiente de determinación ajustado.

$Y_i$ : Valor observado de la variable dependiente.

$\hat{Y}_i$ : Valor predicho de la variable dependiente.

$\bar{Y}$ : Valor promedio de la variable dependiente.

N: Número total de datos empleados en el trabajo.

P: Número total de parámetros a estimar.

Para poder comparar ecuaciones con transformación en la variable dependiente y sin esta es necesario ubicarlas en el mismo plano muestral, ya que no se pueden comparar usando el error estándar de estimación (S), para lograr este objetivo se utilizó la ecuación planteada por Furnival (1961) citado por González (1989) empleada por (Vásquez, 1998; Loguercio y Defossé, 2001; Henry, 2002; Benítez et al., 2003 y 2004; Barrio et al., 2004) que se muestra a continuación:

$$I = [f \times (y)]^{-1} \times S \quad (13)$$

Donde:

I: Índice de Furnival.

$f'(y)$ : Derivada de la variable dependiente respecto al valor no transformado de la misma.

[ ] : Proporcionan la media geométrica del valor en ellos incluido.

S: Valor del error estándar de estimación.

Se empleó como elemento de decisión el Criterio de Información de Akaike (AIC) utilizado por (Diéguez et al., 2003; Barrio et al., 2004):

(15)

$$\Delta_{AIC} = N \bullet \ln \hat{\sigma}_j^2 + 2(p+1)$$

$$\text{Siendo: } \hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{N}$$

(16)

Donde:

$\Delta_{AIC}$  : Criterio de información de Akaike

N: Número total de los datos empleados

$\hat{\sigma}^2$  : Estimador de la varianza del error del modelo j

p: Número de parámetros a estimar

$Y_i$ : Valor observado de la variable dependiente.

$\hat{Y}_i$ : Valor predicho de la variable dependiente.

### **Validación de los modelos de regresión**

Se plantea que el proceso más importante después que se ha obtenido un modelo es el de validación. Su principal objetivo es asegurar que los resultados sean generalizables a toda la población y no específicos de la muestra utilizada en la estimación (Hair et al., 1999).

Todos los datos utilizados en la validación de los diferentes modelos propuestos en este trabajo fueron excluidos de las muestras utilizadas para estimar los parámetros de las funciones de dichos modelos por lo que la validación realizada en todos los casos es una validación independiente, coincidiendo con lo planteado por Alder (1980).

La validación se realizó mediante los estadísticos de predicción más utilizados comúnmente en la literatura desviación global, desviación agregada, el sesgo y el error medio cuadrático. Estos procedimientos han sido utilizados por diferentes autores entre los que se encuentran Gra y Báez (1989); Vidal (1995); Egas (1998); Rodríguez (1999); Henry (2002); Benítez et al. (2002 y 2003); Machado et al. (2003).

Para calcular la desviación global y agregada se utilizan las fórmulas planteadas por Caillez (1980):

$$DG = \frac{(\sum P_r - \sum P_{est})}{\sum P_{est}} \times 100 \quad (17)$$

$$DA = \frac{(\sum P_r - \sum P_{est})}{N} \quad (18)$$

Donde:

DG es la desviación global (%); DA es la desviación agregada;  $P_r$  es el peso real de los diferentes componentes de los árboles;  $P_{est}$  es el peso estimado de los diferentes componentes de los árboles; N es el número de muestras.

La capacidad del ajuste de los modelos se ha basado en la obtención, a partir de los residuos, de los siguientes estadísticos frecuentemente utilizados en la modelización forestal (Prodan et al., 1997; Castedo y Álvarez, 2000):

El sesgo que evalúa la desviación del modelo respecto a los valores observados Loguercio y Defossé (2001); Henry (2002); Kiviste et al. (2002); Diéguez et al. (2003); Rodríguez y Molina (2003):

$$\overline{E} = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)}{N} \quad (19)$$

Donde:

$\overline{E}$  : Sesgo

$Y_i$ : Valor observado

$\hat{Y}_i$  : Valor predicho

El error medio cuadrático que analiza la precisión de las estimaciones Padilla

(1999); Ares (1999); Benítez (2001); Diéguez et al. (2003); Álvarez et al. (2003);

Barrio et al. (2004):

$$EMC = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{N - P} \quad (20)$$

Donde:

EMC: Error medio cuadrático

$Y_i$ : Valor observado

$\hat{Y}_i$ : Valor predicho

N: Número total de datos empleados en el trabajo

P: Número total de parámetros a estimar.

### **3. 2. 3. Análisis de la influencia de la calidad de las trozas utilizadas en la EFI GUANAHACABIBES y EFI COSTA SUR**

Se tomó un tamaño de muestra de 50 trozas al azar en la Empresa Forestal Integral Guanahacabibes y 20 en la Empresa Forestal Integral Costa Sur, marcando cada troza donde después se determinaron los siguientes parámetros:

#### **1. Especie utilizada**

- *Pinus caribaea*
- *Pinus tropicalis*
- *Cedrela odorata*
- *Swietenia mahagoni*
- *Calophyllum antilinum*
- *Samanea saman*
- *Bursera simaruba*
- *Mastichodendron foetidissimum*

#### **2. Diámetro de troza**

#### **3. Longitud de trozas**

#### **4. Defectos presentes**



**3. 2. 4 Establecimiento de la presencia de nudos en la madera aserrada producida en el establecimiento Arbaro Barba. EFI Pinar del Río.**

Mediante el estudio realizado a la madera aserrada del Aserrio Álvaro Barba perteneciente a la EFI Pinar del Río se tomo una muestra de 104 tablas la cual se le contó y midió la cantidad de nudos presente en ambas cara de la misma, obteniendo un diámetro promedio por nudo de cada tabla de 2.35 cm.

Según la norma ramal (NEAG 4304.018 / 1988) en algunos de su requisitos técnicos a medida que se obtuvieron las tablas se clasificaron según su ubicación radial dentro de la troza, como tablas A, B o C.

Las tablas "A" ( incluyen medula ),presenta gran proporciones de madera juvenil , tablas "B" (zona intermedia ) presenta proporciones de madera juvenil y madera adulta , y tablas "C"( próximas a la corteza) presenta en su mayoría madera adulta.

## IV ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

### 4.1 Cálculo del volumen de madera de un área forestal aplicando técnicas de integración Monte Carlo.

Teniendo EN consideración los trabajos desarrollados por diferentes autores, donde se expone que la cuantificación de la madera como materia prima es un proceso de vital importancia en la cadena productiva y teniendo en consideración que estamos trabajando con árboles en pié, a continuación exponemos un procedimiento matemático para cuantificar o cubicar los volúmenes de madera en un rodal a partir de la aplicación de técnicas matemáticas teniendo en consideraciones las valoraciones aportadas por Estévez (2010):

- Estimación del volumen de madera en un área forestal perteneciente a un bosque artificial con especies que poseen elevado coeficiente mórfico.

(1) Aplicando Monte Carlo Crudo.

Mediante el MDT se dispone de las ecuaciones que modelan la superficie terrestre  $S_1(x,y)$ . Esta superficie es continua sobre una región plana  $R$  (proyección de  $S_1(x,y)$  sobre el plano  $XY$ ) y se define como:

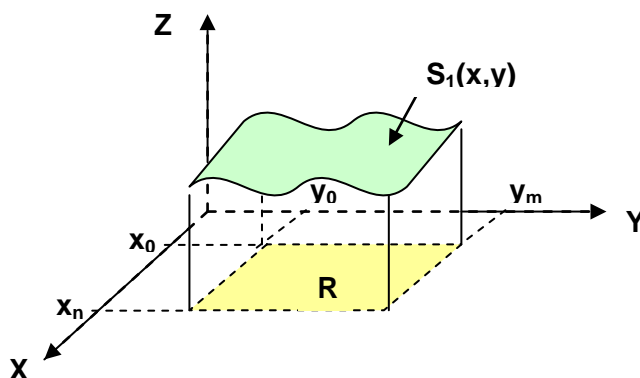
$$R = \{(x, y) \in R^2 : x_0 \leq x \leq x_n, y_0 \leq y \leq y_m\}$$


Figura 54545454x. : Representación gráfica de la superficie  $S_1$

Bajo las condiciones anteriores se puede determinar el volumen  $V_1$  a través del cálculo de la integral doble:

$$V_1 = \iint_R S_1(x, y) dx dy = \int_{y_0}^{y_m} \int_{x_0}^{x_n} S_1(x, y) dx dy \quad (21)$$

Mediante MC Crudo este cálculo se reduce a interpretar la integral anterior como el valor promedio de la función  $S_1(x, y)$  en el recinto  $R$ , o sea:

$$\left(\overline{S_1}\right)_R = \frac{\iint_R S_1(x, y) dx dy}{\iint_R dx dy} \quad (22)$$

Luego:

$$\iint_R S_1(x, y) dx dy = \left(\overline{S_1}\right)_R \cdot \iint_R dx dy \quad (23)$$

Pero como que el área  $A_R$  de la región  $R$  es:

$$A_R = \iint_R dx dy = \int_{y_0}^{y_m} \int_{x_0}^{x_n} dx dy = (x_n - x_0)(y_m - y_0) = a.b \quad (24)$$

Finalmente se tiene que:

$$V_1 = \left(\overline{S_1}\right)_R \cdot A_R = a.b \left(\overline{S_1}\right)_R \quad (25)$$

Y en esta expresión se aplica el MC Crudo del modo siguiente:

Para calcular  $\left(\overline{S_1}\right)_R$ , se comienza por generar dos números aleatorios  $r_1$  y  $r_2$  distribuidos uniformemente en el intervalo  $[0,1]$  y se trasladan al recinto  $R$ , para obtener el par aleatorio  $(x, y)$  mediante las expresiones:

$$x = x_0 + r_1 (x_n - x_0) \quad (26)$$

$$y = y_0 + r_2 (y_m - y_0) \quad (27)$$

de este modo  $x \in [x_0, x_n]$  y  $y \in [y_0, y_m]$  y por tanto, el par aleatorio  $(x, y) \in R$ .

Se repite este procedimiento, obteniéndose N pares aleatorios  $(x_i, y_i)$  que también pertenecen a R, y se determina  $(\overline{S_1})_R$  mediante la expresión:

$$(\overline{S_1})_R = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_1(x_i, y_i) \quad (28)$$

Hasta que ella converja a un valor determinado con la precisión requerida.

Por lo que el volumen  $V_1$  es:

$$V_1 = \frac{a \cdot b}{N} \sum_{i=1}^N S_1(x_i, y_i) \quad (29)$$

De la misma manera se puede obtener una función  $S_2(x, y)$  que modele la superficie que contiene la copa de los árboles, esto consiste en la posibilidad de poder disponer mediante la fotografía aérea de un área forestal (R) de las cotas de las copas de los árboles a través del empleo del estereorrestituidor fotogramétrico.

Ahora se estima el volumen  $V_2$  mediante:

$$V_2 = \frac{a \cdot b}{N} \sum_{i=1}^N S_2(x_i, y_i) \quad (30)$$

Este se encuentra bajo la superficie  $S_2$  y contiene completamente al volumen  $V_1$ .

La diferencia  $V_2 - V_1 = V_T$  representa el volumen limitado inferiormente por la superficie que modela el terreno ( $S_1$ ) y superiormente por la superficie que modela la copa de los árboles ( $S_2$ ). Luego el volumen  $V_T$  incluye aire, follaje, madera de interés industrial, etc.

Es de interés estimar el volumen de madera (V) contenido dentro de  $V_T$  y para hacerlo se puede proceder de la forma siguiente:

Se selecciona la muestra mediante una técnica apropiada, por ejemplo: el Muestreo Sistemático a  $n$  parcelas rectangulares de  $1000 \text{ m}^2$  ( $50\text{m} \times 20\text{m}$ ) de superficie cada una.

De manera independiente, en cada parcela se determina:

- (a) La cantidad de árboles ( $k$ ) que existen en los  $1000 \text{ m}^2$  de terreno.
- (b) Los diámetros normales (a  $1,30 \text{ m}$  del suelo) de esos  $k$  árboles.
- (c) Se estima el volumen de madera que existe en  $1300 \text{ m}^3$  ( $1000 \text{ m}^2 \times 1,3 \text{ m}$ ) mediante:

$$v = \frac{\pi}{4} (d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_k^2) \cdot h \cdot f \quad \text{con } h = 1,30 \text{ m} \quad (31)$$

u otra expresión acorde a las características propias de la especie que contiene cada parcela.

Posteriormente, se determina la densidad volumétrica total en las  $n$  parcelas muestreadas empleando:

$$\rho_v = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{1300 \cdot n} = \frac{V_E}{1300 \cdot n} \quad (32)$$

Y finalmente a través de la proporción:

$$\begin{array}{l} 1300 \cdot n \dots\dots V_E \\ V_T \dots\dots V(?) \end{array}$$

se estima el volumen de madera ( $V$ ) que interesa mediante la expresión:

$$V = \frac{V_T \cdot V_E}{1300 \cdot n} = V_T \cdot \rho_v \quad (33)$$

(2) Aplicando Monte Carlo Acierto – Rechazo.

Como se sabe se dispone de la superficie  $S_1(x, y)$  que modela el terreno y se desea estimar el volumen de tierra  $V_1$ , que está limitado por  $S_1(x, y)$  y por la proyección de ésta sobre el plano XY (denotada por R) y definida por:

$$R = \{(x, y) \in R^2 : x_0 \leq x \leq x_n, y_0 \leq y \leq y_m\}$$

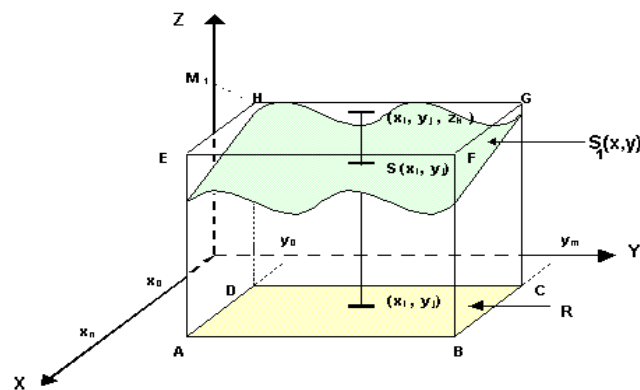


Figura 3253487965976 Representación de la superficie  $S_1$  y su proyección R sobre el plano XY

Se determina el punto  $M_1$  que representa el valor máximo de la superficie  $S_1$  sobre la región R ya definida.

Ahora se puede calcular el volumen  $V_P$  del paralelepípedo ABCDEFGH, el cual contiene completamente al volumen  $V_1$ , y también está definido sobre la misma región R pero con una altura  $M_1$ , mediante la expresión:

$$V_P = \int_0^{M_1} \int_{y_0}^{y_m} \int_{x_0}^{x_n} dx dy dz = (x_n - x_0) (y_m - y_0) M_1$$

Ya se conoce que:

$$V_1 = \int_{x_0}^{x_n} \int_{y_0}^{y_m} S_1(x, y) dy dx = \int_{x_0}^{x_n} \int_{y_0}^{y_m} \int_0^{S_1(x, y)} dz dy dx \quad (34)$$

Y por supuesto se sabe que  $V_P > V_1$  sobre la región R.

Para estimarlo se generan tres números aleatorios  $r_1, r_2$  y  $r_3$  distribuidos uniformemente en el intervalo  $[0, 1]$  y se trasladan al paralelepípedo mediante las ecuaciones:

$$x = x_0 + r_1 (x_n - x_0) \quad (35)$$

$$y = y_0 + r_2 (y_m - y_0) \quad (36)$$

$$z = r_3 M_1 \quad (37)$$

de este modo  $x \in [x_0, x_n]$  ;  $y \in [y_0, y_m]$  y  $z \in [0, M_1]$ .

Se repite el procedimiento N veces; obteniendo N-ternas aleatorias  $(x_i, y_i, z_i)$ .

Si cada terna generada se encuentra dentro de  $V_1$ , se cuenta un acierto y si está fuera de  $V_1$  se cuenta un error. Teniendo en presente que:

(a) Si  $z_i > S(x_i, y_i)$  entonces está fuera de  $V_1$  y se cuenta error (fallo).

(b) Si  $z_i \leq S(x_i, y_i)$  entonces está dentro de  $V_1$  y se cuenta acierto.

Se denota por NA la cantidad de aciertos y por NE la cantidad de errores o fallos, de modo que  $NA + NE = N$ .

Por lo que resulta:

$$V_1 = V_P \cdot \frac{NA}{N} = (x_n - x_0) (y_m - y_0) M_1 \cdot \frac{NA}{N} \quad (38)$$

Del mismo modo se procede a calcular el volumen  $V_2$  que viene determinado sobre la región R por la superficie  $S_2(x, y)$  obtenida como se explicó con anterioridad. De manera que:

$$V_2 = V_P \cdot \frac{NA}{N} = (x_n - x_0)(y_m - y_0) M_2 \cdot \frac{NA}{N} \quad (39)$$

Siendo  $M_2$  el valor máximo de la superficie  $S_2$  sobre la región R.

La diferencia  $V_2 - V_1 = V_T$  representa, de la misma forma que en MC Crudo, el volumen que ocupado por el aire, el follaje, la madera, etc.

#### **4. 2 Modelo matemático para estimar el volumen total de la madera aserrada a partir del árbol en pie.**

Como se conoce la determinación del volumen total de la madera aserrada a partir del árbol en pie es muy difícil y en eso se cometen errores importantes y posee un elevado coste (Mariot, 1988). La estimación de este es muy necesaria por ser una variable independiente importante en la determinación del rendimiento de madera en el árbol (Corvalán, 1998). Para determinar los modelos de regresión para estimar el volumen de madera aserrada se partió de la correlación existente entre las variables medidas.

En el resumen del modelo se pueden observar los modelos desarrollados a partir de las variables estudiadas con sus respectivos coeficientes de correlación (R) 0,971 y 0.979, elevado y determinación ( $R^2$ ) 0.945 y 0.956 respectivamente por los modelos 1 y 2 siendo el segundo de mayor valor y en caso del error estándar de la estimación



(S) viendo siendo el modelo 2 de menor coeficiente de determinación 0,019 contra 0,021 del segundo, lo que justifica la elección del modelo 2.

$$Y = -0,068 + 0,840(Vmp) \text{ o } Y = -0,068 + 0,840(Hc \cdot (d_{1,30})^2 \cdot 0,785.f) \quad (11)$$

El modelo cumple supuesto de independencia. Durbin-Watson con un valor de 1, y el supuesto de no colinealidad con una tolerancia de 0,348 > 0,01 valor de entrada y sigue una distribución normal. Figura 15 (Anexo).

#### 4. 3 Determinación de la influencia de la calidad de las trozas sobre los rendimientos de madera aserrada.

En la EFI Costa Sur el rendimiento es de 72% que es mayor que el de la EFI Guanahacabibes que tiene un rendimiento bajo de 48,40 % aspectos estos relacionados con las diferencia de diámetro y longitud de las trozas que se procesa en los dos aserraderos. Los diámetros de las trozas son 48,83 cm y 32,04, y longitud de 4,43 m y 2,90 m respectivamente.

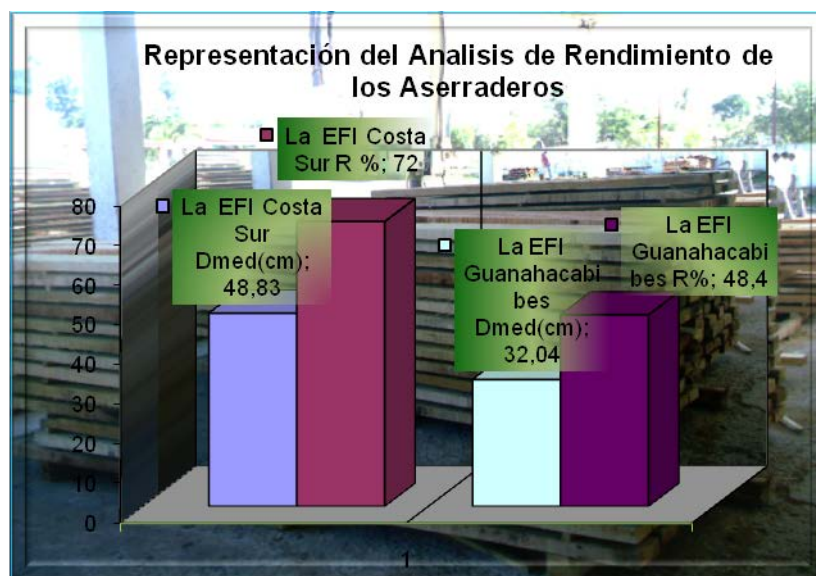


Figura:19. Representación del analisis de rendimiento de los aserraderos

Hay también diferencias en los surtidos que se están elaborando, en la EFI Costa Sur, esta elaborando surtidos en forma de tablas y en la EFI Guanahacabibes se están produciendo surtidos en forma de tabla y bloques de dimensiones diferentes.

Por otro parte, no se puede olvidar la calidad de las trozas que tiene que ver con las características del bolo o sea la influencia de los defectos de los mismos en el rendimiento.

En la EFI Gaunahacabibes la calidad de las trozas es menor que las de la EFI Costa Sur donde hay mayor defectos como se puede percibir en la figura 20, donde

las trozas con nudos y curvatura del fuste son los defectos que más predominan, con un por ciento para la EFI Guanahacabibes de 40 % y 28,9 % respectivamente y para la EFI Costa Sur 45,2% y 22,6% respectivamente, seguido por la irregularidad de las trozas con un 12,9% a diferencia de la EFI Costa Sur de un 3%. Los otros defectos de la madera también influyen pero con un por ciento inferior (véase Figura 21 y Figura 22 ).

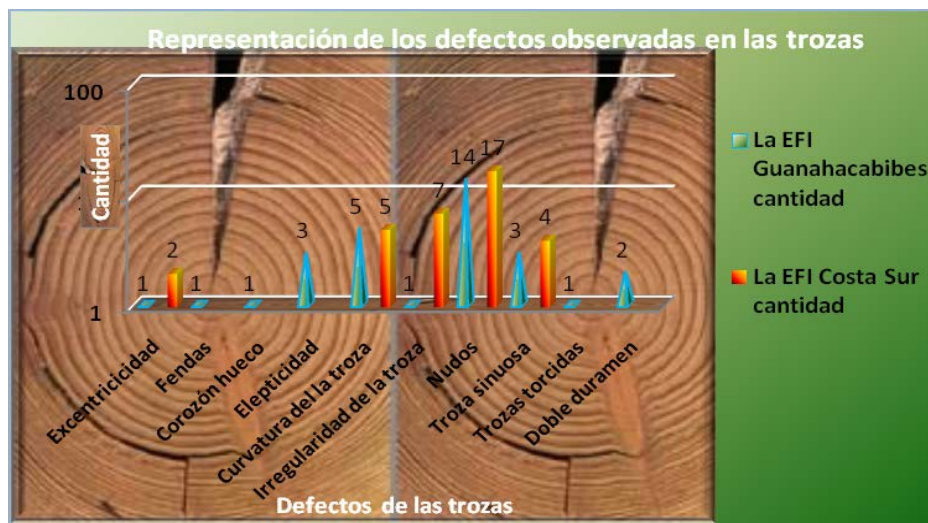


Figura 20. Representacion de la cantidad de defectos observado en las trozas de los aserraderos

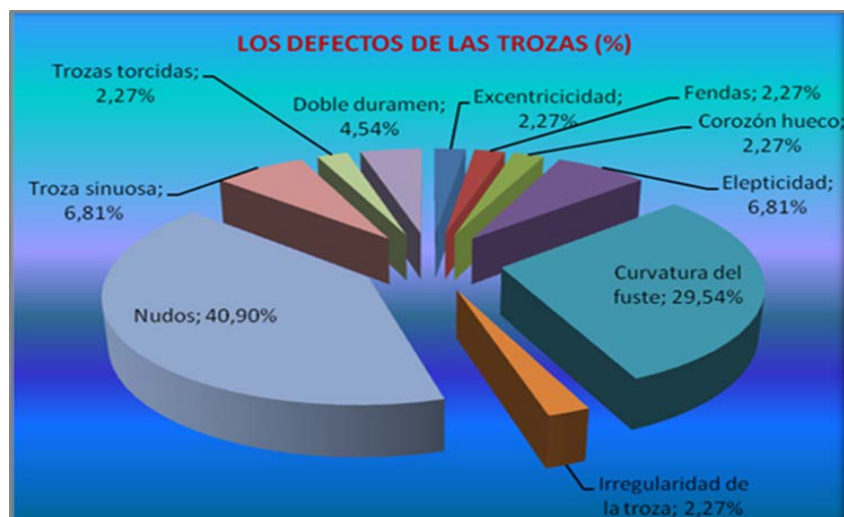


Figura 21. Representacion de los defectos que se observo en las trozas en la EFI Guanahacabibes (%)

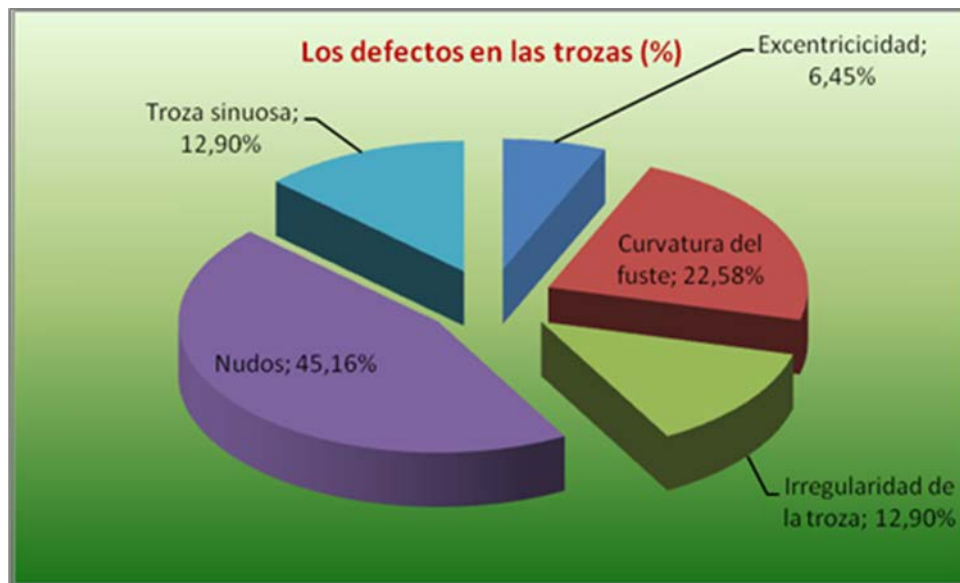


Figura 22. Representacion de los defectos que se observo en las trozas en la EFI Costa Sur(%)

#### 4. 4 Presencia de nudos en la madera aserrada de *Pinus caribaea* producida en la EFI Pinar del Río

El estudio realizado se pudo comprobar que la calidad de los surtidos obtenidos no son comercializados según las normas ramales existentes.

Se tomó como muestra 80 trozas de madera, las cuales se les midió el diámetro de la misma, después de hecho, se confeccionó un gráfico donde expresa la correlación entre el número de troza por clase diamétrica, como se observa en la figura 1.

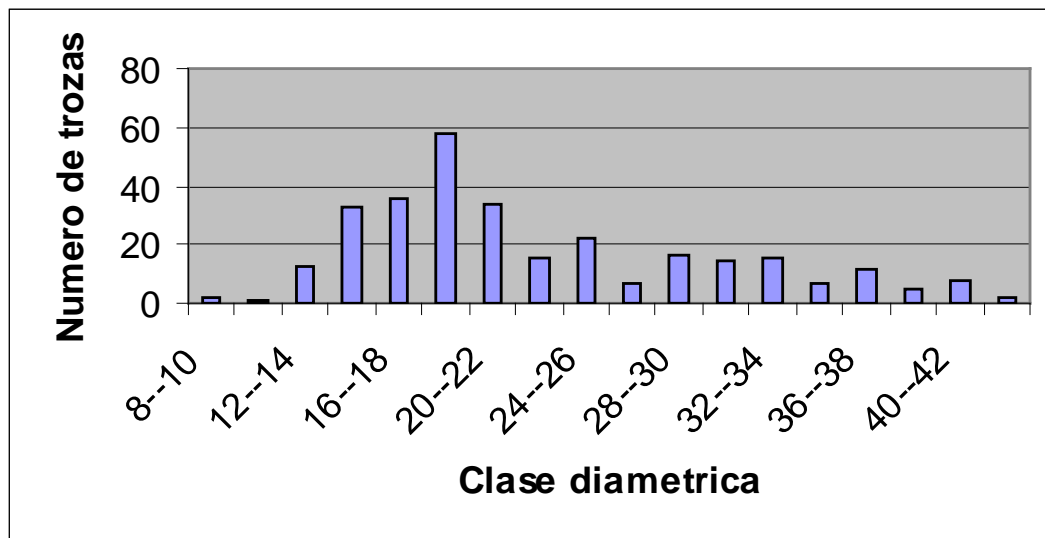


Fig1.Representación de cantidad de troza por clase diametrica

Después de hecho el análisis pertinente de las tablas y la cantidad de nudos presente en las mismas se arribo a que la cantidad de nudos por tabla no infiere de los 20 nudos véase figura 2

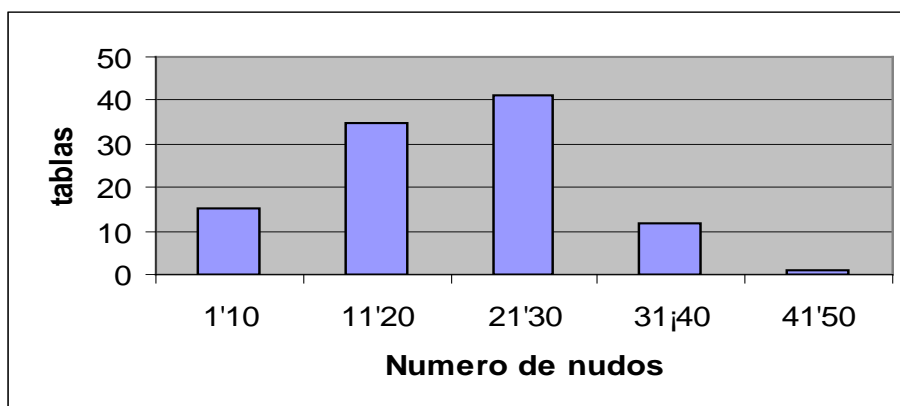


Fig2 Representación de la cantidad de nudos por tabla

## **V. CONCLUSIONES**

- 1- El presente trabajo describe una manera interesante de estimar el volumen de madera de un área forestal perteneciente a un bosque artificial, que posee especies de elevado coeficiente mórfico, mediante las técnicas de integración numérica Monte Carlo Crudo y Monte Carlo Acierto – Rechazo a partir del conocimiento del Modelo Digital del Terreno.
2. Se puede apreciar que teniendo en consideración el diámetro de las trozas, altura de copa y conicidad se pueden predecir los rendimientos de madera aserrada a partir de los árboles en pié.
3. La calidad de las trozas incide directamente los rendimientos de madera aserrada.
4. La cuantificación de los nudos en las piezas aserradas obtenida posibilita expresar que la clasificación visual de la madera aserrada en los aserraderos se está realizando de forma empírica.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Tener en cuenta para posteriores investigaciones relacionadas con esta temática los resultados de esta tesis.
2. Continuar los estudios en la temática el control de la calidad de la madera sobre los procesos de transformación y calidad de la madera aserrada de acuerdo a las normas ramales existentes.
3. Que se haga un uso adecuado de las norma ramales existentes.
4. Utilizar los resultados obtenidos en nuestro trabajo como documentos de consultas de estudiantes de pregrado y postgrado en Ciencias Forestales.

## BIBLIOGRAFIA

- Alvarez, D.; Egas, A. F.; Garcia, J. M.; Etevez, i.; chavez, p. p. 2000. elevación de la eficiencia de aserraderos con sierras de banda. memorias del i simposium internacional sobre manejo sustentable de los recursos forestales. iufro. universidad de pinar del río. cuba.
- alvarez, d.; egas, a. f.; garcia, j. m.; estevez, i. 2001. factores fundamentales para aumentar el rendimiento volumétrico en los aserraderos de cuba. revista chapingo. serie ciencias forestales y del ambiente. vol vii (2) 163-168. méxico.
- alvarez, d.; egas, a. f.; garcia, j. m.; estevez, i.; pupo, i. 2002. intensificación de la producción de madera aserrada. ii simposium internacional sobre el manejo sostenible de los recursos forestales. universidad de pinar del río. iufro. cuba.
- álvarez, d., gonzález, i.; guevara, m. 2007. tecnología de la madera. libro. aprobado para publicar. universidad de granma. granma. cuba. 189 p.
- garcía, y. 2002. análisis de la variabilidad genética en pruebas de procedencia progenies y perspectivas de mejoramiento en pinus caribaea var. caribaea. tesis de maestría. departamento forestal. universidad de pinar del río, cuba. 68 pp.
- international organization for standardization (iso). 1975. wood-determination of ultimate strength in static bending. iso 3133.
- díaz, a, carballo, l, bustamante, j. p.; álvarez, d. ciencia de la madera. editorial enpes. ciudad de la habana, cuba.
- inia (2001). curso de tecnología de la madera. inia-aeci. cartagena de indias, colombia.
- golfín, j. i. 1998. manual de secado de madera. editorial gráfica palermo; sl. españa. p. 168.
- ormarsson, s. 1999. numerical analysis of moisture-related distortion in sawn timber chalmers. university of technology. canada p. 35
- pang, s. 2002. anisotropic shrinkage prediction of softwood. wood science and technology (36): 75-91.
- coronel, e.o.1994.fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas .aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades y sus aplicaciones .editorial el liberal .santiago de estero. argentina. 187 p
- gonzález, i. 2008. análisis de las deformaciones de la madera aserrada de pinus caribaea var. caribaea. tesis presentada para optar por el grado científico de doctor en ciencias forestales. universidad de pinar del río. cuba 100 p.
- kollmann, f. 1954. tecnología de madera y sus aplicaciones. editorial limusa. iii edición, méxico.



rodríguez, j.c.2004.consulta personal .instituto de investigación científica tropical .lisboa. Portugal.

international organization for standardization (iso). wood-test methods-determination of ultimate stress in compression parallel to grain. iso standard 3787.

jagels, r. 2006. management of wood properties in planted forest. a paradigm for global forest production. series title: forest plantation working paper-wpfp/36/e 37 p.

tsoumis, g. 1991. science and technology of wood; structure, properties, utilisation. new york: van nostrand reinhold: london; chapman and hall, 494 pp.

persson, k. 2000. micromechanical modelling of wood and fibre properties. doctoral thesis. department of mechanics and materials. lulea university. sweden. 223 p.

machado, j. s and cruz, h. p. 2005. within stem variation of maritime pine timber mechanical properties. holz als- und werkstoff. 63: 154-159.

macke, k., shepperd, w and jennings, c. 2005. evaluating the bending properties of clear wood specimens produced from small-diameter ponderosa pine trees. forest products journal. madison: oct 2005. vol 55: 72-81

UNE77. determinación de la densidad de la madera. norma española. madrid. 1977.

Woxblon, I. 1999. warp of sawn timber of norway spruce in relation to end-user requirements. doctoral thesis. swedish university of agricultural sciences. 134 pp

garcía, I; guindeo, a; peraza, c; de palacios, p. 2004. la madera y su tecnología. fundación conde del valle de salazar y ediciones multi-prensa.aitim. madrid. 322 p

timell, t.e. 1986. *compression wood in gymnosperms: its causes and control*. springer-verlag, berlin.

harris, j. 1977. shrinkage and density of radiata pine compression wood in relation to its anatomy and mode of formation. new zealand research. for sci 7:91-106 [ [links](#) ]

hillis, w. 1980. some basic characteristics affecting wood quality. *appita* 33:339-344. [ [links](#) ]

gaby, I. 1972. warping in southern pine studs. *us for.serv. res. pap se-96*. 8 pp

pillow, m.; schaffer, e.; pew, j. 1959. citado por lomagnò 2001 determinación de la madera de compresión en *pinus radiata* d.don

young, w.; laidiau, r.; packman, d. 1970. citado por lomagnò 2001 determinación de la madera de compresión en *pinus radiata* d.don

mackney, a.; mathieson, c. 1948. citado por lomagnò 2001 determinación de la madera de compresión en *pinus radiata* d.don

